

121336



桩基承载力

B.H. 高盧勃柯夫著
魏汝龙译

教师参考室

24

人民交通出版社

內 容 提 要

本書根據在野外以充足尺寸的樁所進行的樁基試驗，來說明樁在土中的作用性質，擬定在垂直和水平荷重下的樁基的設計原則，並指出木接樁的載重力。

本書可供建築物地基和基礎的設計和施工工程師參考之用。

統一書號：T15044·2023·京

樁 基 承 載 能 力

В. Н. ГОЛУБКОВ

КАНД ТЕХН НАУК

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

СВАЙНЫХ ОСНОВАНИЙ

МАШИНОСТРОИТЕЛЬ

МОСКВА 1950

本書根據蘇聯機器製造廠建造工程都出版社1950年莫斯科俄文版本譯出

魏汝龍/譯

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

新 華 書 店 發 行

公 私 合 營 慈 成 印 刷 工 廠 印 刷

1957年5月北京第一版

1957年5月北京第一次印刷

開本：787×1092毫米

印張：4 1/2 張 插頁7頁

全書：81,000字

印數：1—31,000冊

定價(10)：0.75元

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號)

552

5/0024 (

目 录

序 言

第一章	在野外確定樁基承載能力的方法	2
第二章	樁基的垂直載重力	8
1.	总 論	8
2.	單樁和樁基的作用性質	11
3.	設計樁基的原則	35
4.	木接樁的載重力	50
第三章	樁基的水平載重力	60
1.	單樁和樁基的承載能力	60
2.	樁在土中的變形	68
3.	樁基移動時土壤的變形	82
4.	木接樁的水平載重力	93
5.	樁在水平荷重下的計算原則	97
6.	確定樁的容許水平荷重	119

參考文獻

序 言

为了正确和有根据地设计桩基，首先必须研究桩的作用的真实性质，并善于精确地确定它们的承载能力。

只有在各种土壤条件下以实足尺寸的桩基进行大量野外试验后才能达到这个目的。必须考虑到，根据数量不多的试验观测而仓促判断，往往会得出不正确的结论。

因此，作者用多次反复试验的研究方法来研究桩基的作用。用这种方法，可以查明桩基和土壤变形的真实情况，并能拟出确定桩基承载能力和设计桩基的基本原则。

在各种土壤条件下研究桩在垂直和水平荷重下的作用性质及其承载能力。在垂直荷重下对于所谓“摩擦桩”进行试验。这种摩擦桩的作用性质以及有根据的设计桩基的方法，迄今尚未充分研究过。作者曾在我国的一些大型建筑工程的工地上进行许多试验。共研究了75个桩数在21根以下的试验桩基和100多根单桩。

书中也引述了其他学者所作的同类试验的结果，使本书包括了各个领域中的所有的一切新资料。

在试验进行中，技术科学博士H.B.拉列金教授和作者以前的科学指导者技术科学硕士A.E.包立兴教授曾提出很多宝贵的意见，并给予帮助，作者谨表示深切的谢意。

第一章 在野外确定樁基承載能力的方法

試樁前，預先进行土壤条件的地質調查。

完成建筑工地中的地質調查和試驗室中的土壤分析后，就拟定試樁的分布地点。樁的布置应使得能够研究樁在垂直和水平荷重下的作用的各个方面，并且尽可能保持这样的条件：使那些需要研究其同一方面的作用性質的樁处在同样的土壤条件中，并使它們在荷重下彼此互不影响。

用重量为1.5到2.5吨的汽錘和高度与樁長相适应的木制打樁架打樁。

在樁上繪一刻度为1公分的标尺，或在鋼筋混凝土樁上粘貼米厘紙帶，打樁时樁的貫入度用水准仪根据标尺或米厘紙帶測量。樁錘的反跳根据靠在樁边的水平尺確定。

向單樁上传送垂直荷重，是用安放在裝于樁头上的金属平台上的鑄鉄块或压力为100、150和200吨的水力千斤頂来进行。在試驗單樁时，最好用鑄鉄块作为荷重，这样可以最簡易地使每一級荷重維持到穩定。在采用千斤頂时，用工字梁作其支承点。工字梁的兩端固定在金属箍中，金属箍用螺栓联結在承受拔出作用的鑄樁上。为了消除鑄樁对于試樁的影响，試樁与鑄樁的間距采用 $6d \sim 7d$ ，即1.5~1.8公尺。

試驗表明，应在每边打鑄樁兩根，而在应力非常大时，每边打四根，樁的根端（粗头）向下。这样打入的樁，很少可能被过早地拔出。樁的沉降用精確度达0.1公厘的撓度計測量，撓

度計固定在基準梁上。梁的支柱放在試樁旁距離 $12d$ 的地方。

荷重以相等的等級加上，此時每一級荷重的數量根據土壤條件而選擇。土壤的密度根據地質斷面圖和打樁時消耗的能量確定。對於單樁，當入土深度在15公尺以下時，最大的荷重等級不得超過3噸，當入土深度在25~30公尺以下時，不得超過6噸。

有松軟土壤時，荷重等級可減到1噸以下。

從每級荷重開始，觀測樁的沉降，直到一定時間後沉降完全停滯為止。然後施加下一級荷重。

就試樁的荷重來說，採用水力千斤頂可以輕易地和迅速地加載和卸載，保證工作中的安全，並且只需少數看管的工人。但是，用水力千斤頂進行樁的荷重試驗也有其缺點。必須打錨樁，有時甚至每邊打四根，使試驗大為複雜而且昂貴，而在某些情況下，不得不放棄使用水力千斤頂，改用荷重平台 and 重物。在同一級荷重下，隨着樁的變形的增大，千斤頂中的壓力下降，而為了使壓力不變，需要經常檢查壓力表，並調節千斤頂，使它保持必需的壓力。為此，必須利用精確度高而且靈敏的壓力表。這種壓力表能確定千斤頂中壓力的最微小的下降。靠近試樁打錨樁，則承受拔出作用的錨樁對於試樁有影響，因而得出不正確的記錄。錨樁必須打在離開試樁不小於 $6d$ 之處，而這就需要採用大斷面的支承梁。

水力千斤頂必須按照工作時所用的那只壓力表精確地校準。水力千斤頂需要經常仔細地養護和檢查，並且在其工作過程中，必須注意使活門、墊圈和活塞嚴密完善。變性酒精、液態的飛機油或摻有一半變性酒精的甘油，均可作為水力千斤頂中的作用液體。

為了使試驗樁基的試驗條件與建築物地基中樁的作用條件

相符，并使得能够均匀地向各樁上施加荷重，用鋼筋混凝土樁台將試驗樁基剛性地联結起来，并使各樁嵌入混凝土中 0.5 公尺。为了測量樁的沉降，在混凝土樁台的四角埋入角鉄。由撓度計上引金屬絲固定在角鉄端。撓度計固定在基准点上。为了使試驗樁基的沉降不致影响到基准点的稳定性，基准点的支柱与樁基的距离須为三个樁群寬度。在个别情況下，为了檢查，还用精密水准仪測量樁的沉降。

試驗樁基上的荷重分級加上，每級按一根樁 6 吨計算。在第一級荷重中应計入樁台的重量。每一級荷重應該在上一級荷重的沉降完全停滯后开始加上。几乎所有的試驗樁基均維持到沉降随時間的增長完全停滯时为止。

垂直荷重下試驗樁基的裝置示于图 1 中。

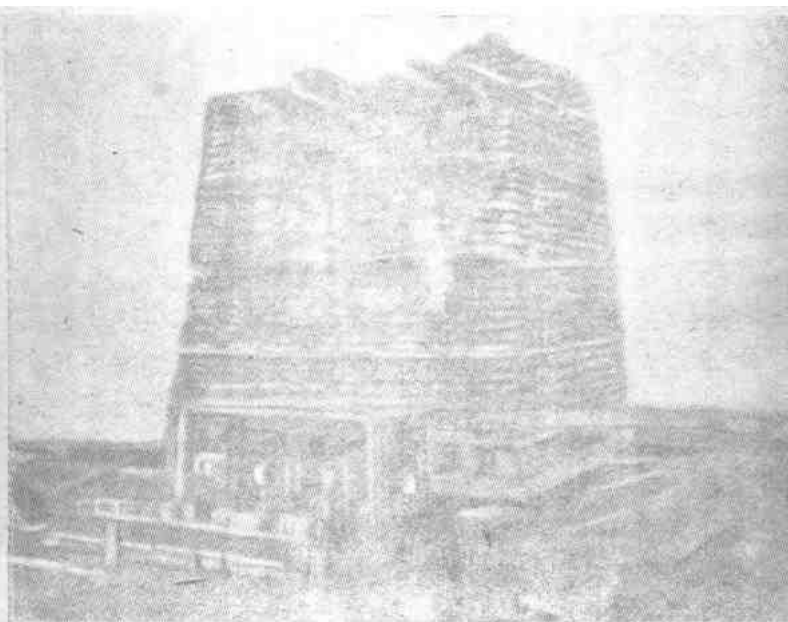


圖 1 在垂直荷重下試驗樁基的裝置

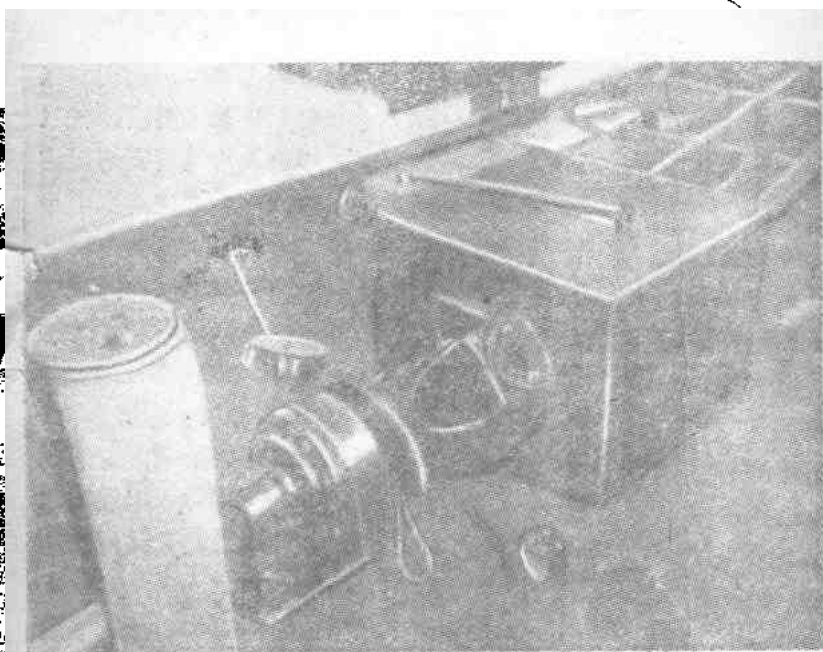


圖 2 在水平荷重下試驗單樁的裝置

單樁（圖 2）和樁基（圖 3）上的水平荷重用 100、150 和 200 吨的水力千斤頂施加。試驗开始前，千斤頂应按压力表校准，而在試驗中間和終了时，为了檢查，应按 150 吨的测力仪（Мессдоз）校准。在單樁試驗过程中，压力表的讀数經常用精度为 0.05 吨的 10 吨测力仪校核。为了在試驗时能觉察出由于樁的变形而在千斤頂中引起的

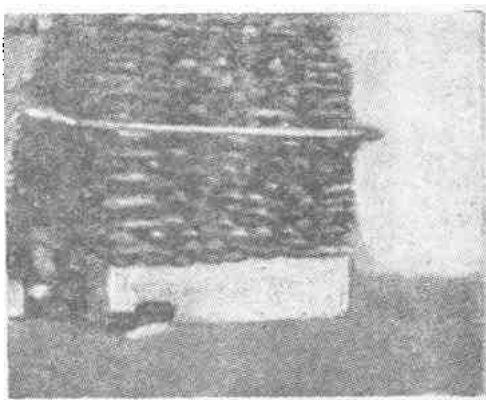


圖 3 在水平荷重下試驗樁基的裝置

最微小的压力下降，在千斤頂和樁之間安設測力儀，此測力儀與千斤頂的压力表比較起来，对于压力的下降更为靈敏。对單樁施加水平力时，將千斤頂放在兩根試樁中間，這兩根樁互相作为支承。如果樁間的距离超过千斤頂的大小，則在樁和千斤頂之間剩余的間隔中放一段木头，千斤頂通过这段木头向樁上傳送水平力。为了校核用水力千斤頂試驗單樁的結果，同时用帶有測力計的絞車来試驗單樁。這兩种試驗方法得出一样的結果。

樁头的水平位移用精確变达0.1公厘的撓度計測量。

由撓度計上引出的弦綫固定于釘在樁上的釘子上，釘子釘在樁上与千斤頂支撐点相对的一边，并且在水平力作用点的水平上。在位移变化时，設法消除撓度計的金屬絲由于温度变动和拉力而可能产生的長度变化。

由于沒有測斜儀（測量結構断面迴轉角的儀器），故不能在測定位移的同时測定樁头断面的轉动。

樁上的荷重分級加上，每級加1吨。在各級荷重之間的間隔時間內，观测樁的位移。

試驗樁基时（图3），將水力千斤頂放在兩個澆筑在樁头上的混凝土樁台之間。在兩個同时試驗的樁群中，相鄰的边排樁的中心綫之間的距离不小于4公尺。試驗查明，这样的距离足以避免兩個同时試驗的樁群的相互影响。为了从千斤頂向樁台傳送水平力，利用一段長2~3公尺的木头。相鄰兩排樁之間其余的距离由樁台中突出的悬臂部分来填补。为了測量位移，每个樁群設置四个撓度計。兩個測量樁群在地面附近的位移，为此，于混凝土樁台的兩個角上在地面以上高度大致为8~10公分处嵌入兩只道釘，从撓度計引弦綫固定在其上。其他兩個撓度計的弦綫同样也固定在道釘上，但是這兩只道釘嵌于地面

以上高度大致为60~70公分处的樁台边上。这些挠度計可以確定樁台移动时的傾斜度。用牢固地固定在兩根樁上的截断的厚木板或梁木作为基准点。为了消除土壤变形对于基准点的影响，这两根樁打在距离樁台边缘6~8公尺处。

樁群上的荷重和單樁一样分級加上，每級按1根樁1吨計算。在每級荷重下，千斤頂中維持不变的壓力；觀測者随时注意着壓力表，当壓力下降时立刻調整千斤頂。象在單樁中一样，每級荷重維持到位移完全稳定，然后施加下一級荷重。

差不多在所有的單樁和樁基試驗中，从樁头到地面的距离都采用0.55~0.60公尺，而从水平力作用点到地面的距离則相应地为0.15~0.20公尺。

用水力千斤頂进行拔樁試驗时，試樁位于錨樁間距的中点上，并在其共同的中心綫上，而且用断面足够的金属箍联結在支承梁上。錨樁和試樁之间的距离不小于2公尺。有大断面的支承梁时，这个距离最好能达3.0公尺，此时，錨樁对于試樁就沒有显著的影响。應該指出，在拔出打得很深的鋼筋混凝土樁时，必須布置补充的鋼筋，因为在許多情況下，放在樁中的縱鋼筋的一般数量是不够的。

使單樁和樁群上的垂直荷重达到极限值，亦即达到在24小时內使沉降不停滯的数值。已达到的沉降总值不小于20~30公厘。

試樁时，水平荷重加到樁折断为止。当樁群中樁的数量大时，如果樁不可能折断，則荷重加到这种数值：使樁群的总位移不小于150~200公厘。

第二章 樁基的垂直載重力

1. 總 論

自开始采用摩擦樁时起，設計樁基的原則即很少改变；并且目前人們往往認為，为了使樁具有高度的承載能力，必須尽可能將它們彼此靠近地打入。

但是，早在1893和1894年，H.列別金斯基〔9〕^①就首先发表下述見解：“增加樁間的距離显然不会对建筑物的穩定性有不良的后果，因为此时相鄰兩樁的相互影响將减小，而每根樁的載重力变成愈益独立”……“从所有的說明中可得出結論，在砂質土壤中，最合理的布置樁基的方法是將樁打至同一深度，并使樁間的土壤沒有任何压实现象”。

以实足尺寸的樁在野外进行的試驗，已確實地証明，正如H.列別金斯基首先指出的那样，樁的承載能力的增加，确实依赖于樁間距离的增加。

直到最近，人們还認為，增加地基中樁的数量，樁的載重力仍然不变。研究大量試驗樁基后查明，樁的間距和樁的数量对于樁基承載能力有着决定性的影响。考虑到这一点，即可能在技术上有根据地設計樁基，完全利用樁的承載能力。

入土深度对于樁的承載能力也有很大影响，它必須与樁的間距相協調。与樁的間距不相協調而单独采取的入土深度，当其增大时，在提高樁的承載能力方面不能得到預期的效果。

在地基中正確地布置樁，对于承受不均匀荷重的樁基的載重力有着特殊的意义。所有这些因素，都是决定樁的載重力的

① 在这里和后面的方括弧中，指出列于書末参考文献目錄中的参考文献顺序号

基本要素。

我們仅仅研究和觀察了格尖支持在可壓縮土層上的“摩擦樁”，其大部分載重力決定于其側面上的摩擦力。

在進行研究的工地中，地質構造借鑽孔確定。第一試驗工地上的鑽孔深度達23公尺（圖4），而第二試驗工地上則為15公尺（圖5）。

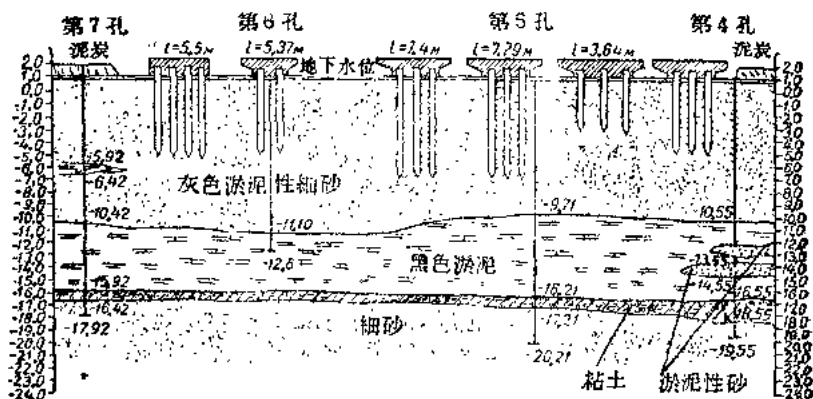


圖4 第一試驗工地的地質斷面圖

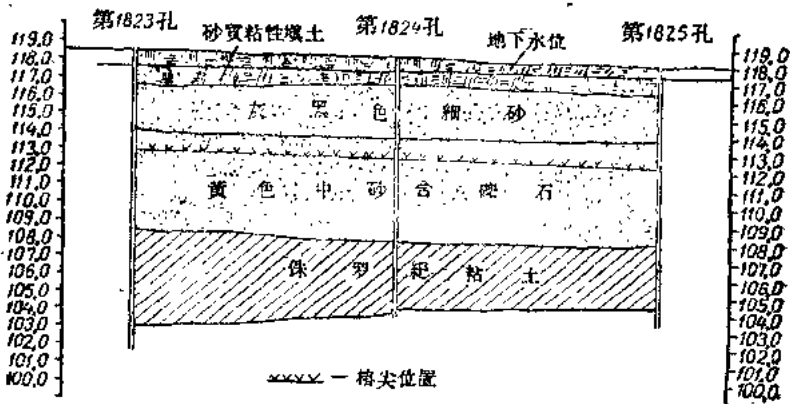


圖5 第二試驗工地的地質斷面圖

表 1 中列出第一試驗工地中淤泥层上面的砂土的試驗室分析結果。此种分析是用取自不同深度的原狀土样进行的。

表 1

土壤的工程地質性質	符号	平均	最大	最小	單 位
天然含水量	w	23	23	19	%
單位重(天然含水量的試样)	γ	2.32	2.15	1.79	噸/公尺 ³
顆粒的比重	δ	2.65	2.66	2.64	噸/公尺 ³
孔隙度(深度 5 公尺处)	n	36	45	34	%
壓縮模量(上部 3 公尺的砂層, 以載荷試驗確定)	E	100	—	—	公斤/公分 ²
壓縮模量(深度大于 3 公尺的砂層, 以載荷試驗確定)	E	350	—	—	公斤/公分 ²
比例極限(砂土表面承受荷重时)		1.25	1.5	1.0	公斤/公分 ²
內摩擦角(未發現粘聚力)	φ	31°31'	32°58'	30°08'	
滲透系数	k	0.0035	0.0040	0.0030	公分/秒
0.25至0.05公厘的砂粒含量(重量比)		32.93	38.84	28.23	%
小于0.005公厘的顆粒含量		3.94	—	—	%

表 2 中列出在第二試驗工地中所取的原狀砂土的試驗室分析結果。

表 2

土壤的工程地質性質	符号	數值	單 位
天然含水量	w	21	%
單位重(天然含水量的試样)	γ	1.87	噸/公尺 ³
顆粒的比重	δ	2.64	噸/公尺 ³
孔隙度	n	41	%
內摩擦角(未發現粘聚力), 含水量 W=21% 时	φ	21°	—
內摩擦角, 水下	φ	18°30'	—

2. 單樁和樁基的作用性質

在研究樁的承載能力時，必須考慮到單樁和樁基作用的特點，因為單樁和樁基在沉降的數量和性質上彼此相差很大。在相等的荷重下，單樁的沉降通常為樁群沉降的 $\frac{1}{4}$ 至 $\frac{1}{6}$ 。在相等的沉降時，單樁的載重力為樁基中樁的載重力的1.5至3倍。上述差額系對樁數不多的樁基（16根樁以下）調查所得。

本書中利用了一些在同樣土壤條件下與樁群試驗同時進行的單樁試驗的材料。

不同的研究者曾在各種土壤條件下進行這種試驗，並得出相同的結果。這些結果很有價值，它提供了這樣的基礎，使可能作出設計時實際應用的結論。

單樁的沉降同荷重和時間的關係圖示於圖6中。從圖上可看出，單樁的沉降與荷重的關係曲線由兩個迥然不同的部分組成——傾斜的和陡直的。在傾斜曲線的範圍內，樁大部分的載重力決定於樁側表面在土中的摩阻力。在傾斜段和陡直段曲線的範圍內，樁的載重力的其餘部分決定於樁尖抗力。這可以容易地用拔出已經過壓載試驗的樁來證明。在圖7、8、9和10中，列舉了樁的壓載和拔出試驗的結果。拔樁試驗在實用上可以足夠精確地確定樁側表面在土中的摩阻力的數值。在沒有附加的應力時，拔樁所用的力即可當作拔出力。實際上可以認為拔出力與樁側表面在土中的摩阻力相等。

樁側表面在土中的摩阻力也可以用另一方法確定。這一方法是技術科學碩士O. M. 拉克〔12〕首先提出並實行的，此時不需要拔樁。摩阻力的數值用垂直荷重壓載試驗樁來確定。為此，必須去掉樁尖下的土壤。此法曾應用在黃土類土壤中，並用設置水平坑道的方法來使樁尖懸空。樁的極限荷重就等於樁側表

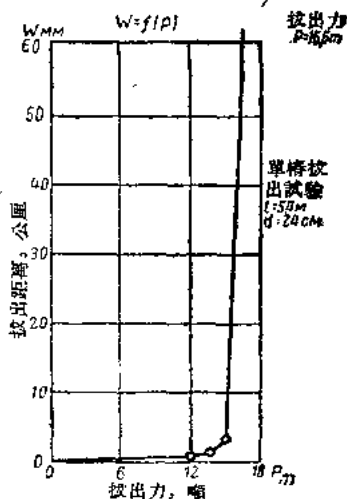
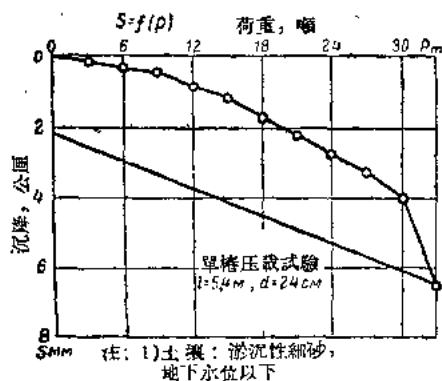


圖 7 單樁的沉陷同荷重的关系圖, 以及拔出距離同拔出力的关系圖

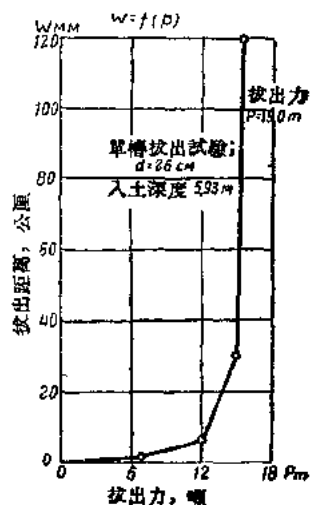
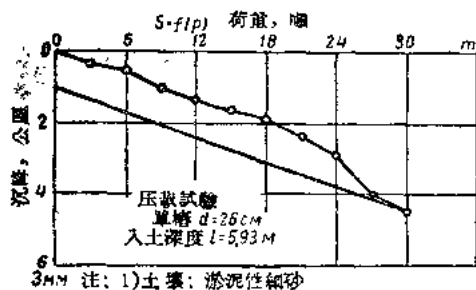


圖 8 單樁的沉陷同荷重的关系圖, 以及拔出距離同拔出力的关系圖

面在土中的摩阻力，因为在这种情况下，樁尖的抗力等于零。

不作拔樁試驗而想在沉降曲綫的傾斜段上找出摩阻力和樁尖抗力的划分点是不可能的，因为它们共同作用着，并同时影响着沉降曲綫傾斜段的性質。

樁的沉降曲綫与土壤有关：樁尖下的土壤愈松软，沉降曲綫的陡直段就愈陡峭；土壤愈密实，沉降曲綫的陡直段就愈平緩。研究在每級荷重下分別繪出的沉降与時間的关系曲綫后，可以指出，樁的极限荷重并不与曲綫傾斜段变为陡直段的轉折点相重合，而是自此再过若干級荷重以后，位于曲綫的陡直段上。在图形轉折后，从第一級荷重开始，樁的沉降更为剧烈，但是很快地达到平衡，这就表明尚未达到樁的极限荷重。仅在繼續若干級荷重以后，沉降才开始非常緩慢地随着時間而停滯，表示已到达樁的极限載重力。此时，沉降曲綫陡直段的方向近于垂直，即平行于沉降軸。樁开始急剧地并大量地发生沉降，非常緩慢地随着時間而停滯时，其荷重即被当作极限荷重。

表 3 中列出樁的压載和拔出試驗的資料。所有的試驗結果均証明，在砂質淤泥性土壤中，樁側表面的摩阻力大致为樁的极限載重力的一半，樁的載重力的其余一半是樁尖抗力。

根据單樁試驗的結果，可以認為，單樁的沉降曲綫 $s = f(p)$ 具有不同的性質，視土壤条件而定。当樁尖下的土壤松软时，在近于极限的荷重下，呈現急剧的沉降，其曲綫形狀近似双曲綫。当樁尖下的土壤密实时，沉降随着荷重的增加而逐漸增長，其曲綫形狀近似拋物綫。沉降曲綫也有其他的形狀，視綜合的土壤条件而定。

据單樁試驗資料規定樁的容許荷重时，必須注意每級荷重下樁随着時間而沉降的性質，特别是从沉降曲綫轉折时开

表 3

直 徑	入 土 深 度	樁 側 表 面 積	極 限 荷 重 或 達 到 的 最 大 荷 重	極 限 力 或 達 到 的 最 大 力 (極 限 表 面 阻 力)	樁 尖 抗 力	樁 側 表 面 上 的 摩 阻 力
公分	公尺	公尺 ²	噸	噸	噸	噸/公尺 ²
28	4.0	2.79	12	6.0	3.0	2.15
28	5.4	3.78	33	16.5	13.5	4.37
29	5.4	4.82	39	21.0	18	4.27
28	5.4	4.00	—	16.5	—	4.13
29	7.6	6.81	57	28.5	8.5	4.13
29	7.65	6.91	—	28.5	—	4.10
28	5.90	5.20	36	21.0	15.0	4.04
24	5.93	4.65	—	16.5	—	3.67
26	5.50	—	—	17.0	—	4.39

淤泥性細砂

 吳沉性細砂4.5公尺；
 砂質淤泥1.0公尺

始。此外，在試驗時必須將每級荷重進行到完全穩定為止。加載終了後經過24小時而沉降的增長不超過0.1公厘^①時即作為穩定。

確定樁的承載能力時，必須根據容許沉降，這種沉降對於建築物的作用沒有不良的影響。對於一切建築物，這種沉降可取為5公厘。在試驗曲線上相應於這種沉降的荷重可作為容許荷重，如果其沉降迅速地隨着時間而停滯的話。

僅在同時研究樁基（樁群）試驗的結果時，才可能按照單樁試驗結果作出有根據的結論。只有同時研究單樁和樁群的結果，才能發現兩種樁的作用具有共同的特點，按照這些特點可

① 譯者註：根據“工地打試樁及其試驗規程”第36條規定，在一小時內沉降量的增長不超過0.1公厘時，即作為沉降穩定。